



## Indagando sobre motores en secundaria

Presentamos una secuencia de actividades para profundizar en el estudio de las leyes de los gases e indagar en el funcionamiento de los motores térmicos a través de la manipulación de un motor de Stirling de canicas que se puede construir con materiales económicos comunes en un laboratorio escolar.

### Finalidad de la actividad

Indagar en el aula sobre el funcionamiento de los motores térmicos.

### Contenidos

Leyes de los gases; motor Stirling.

### Destinatarios

Alumnado de 3.º y 4.º de ESO.

### Recursos y materiales necesarios

Jeringuilla de vidrio, bridas, barra metálica, tabla de madera, palo vertical, nuez, pinzas, tubo de ensayo, canicas de vidrio, lana metálica, mechero de alcohol.

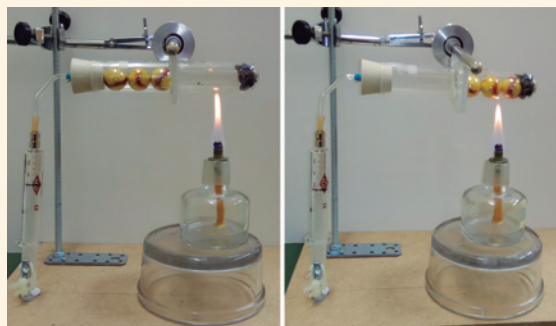
La investigación didáctica reconoce que la alfabetización científica de los estudiantes debe ir más allá del aprendizaje de conocimientos científicos e incorporar conocimientos sobre cómo se hace ciencia y sobre qué es la ciencia (Hodson, 2003). Abordarlos requiere que el trabajo en el aula se enfoque como una investigación en la cual los alumnos, guiados por el profesor, construyen los conocimientos científicos a través de procesos de investigación o indagación.

En este trabajo presentamos una secuencia de actividades para indagar en el aula el funcionamiento de los motores térmicos. Pensamos que, dada su relevancia en la sociedad actual, el alumnado debería tener al menos un conocimiento básico acerca de su funcionamiento. La secuencia de actividades está diseñada para 3.º y 4.º de ESO y se enmarca en la unidad dedicada a las leyes de los gases. La desarrollamos después de construir el modelo cinético-corpúscular para los gases, de aplicarlo a algunos fenómenos cotidianos (véase, por ejemplo, Martínez Torregrosa y otros, 1997) y trabajar las leyes de los gases, como una aplicación que conecta ciencia, tecnología y sociedad.

Dadas las dificultades de manipular un motor de combustión interna, hemos elegido un motor de Stirling de canicas (Boada, 2017) que se construye con materiales económicos comunes en un laboratorio escolar y que es fácil de manipular. En el siguiente apartado describimos su construcción y, posteriormente, presentamos la secuencia de actividades llevadas a cabo con los estudiantes.

### Construcción y funcionamiento de un motor de Stirling de uso didáctico

El motor que hemos construido es el que se muestra en la imagen 1 (en la página siguiente). Empleamos una jeringuilla de vidrio que va sujeta, mediante bridas, a una pequeña barra metálica incrustada en una tabla de madera. A continuación, hemos puesto un palo vertical (sirve un pie de laboratorio) y, con la ayuda de una nuez y unas pinzas, hemos sujetado un tubo de ensayo de un eje horizontal. En el interior del tubo introducimos un número variable de canicas de vidrio y, para evitar impactos violentos, en el fondo del tubo ponemos lana metálica. Por último, conectamos el extremo de la jeringuilla con el tubo de ensayo usando un codo de vidrio, tubos



**Imagen 1.** Motor de Stirling de canicas. El motor oscila de la posición que se muestra a la derecha a la que se muestra en la izquierda y posteriormente recupera la posición original, cerrando el ciclo

de goma y un tapón, formado así una cámara de aire estanca. Un mechero de alcohol situado debajo del tubo de ensayo será nuestra fuente de calor.

Este motor es uno de los diferentes modelos que se conocen con el nombre genérico de motor de Stirling. Todos se caracterizan por presentar el mismo ciclo termodinámico, de ahí su nombre. En nuestro caso, empezamos a calentar el motor en la posición que muestra la parte izquierda de la imagen 1. A medida que el extremo del tubo se calienta aumenta la temperatura del gas interior, con un consecuente aumento de presión y volumen, que desplaza la jeringuilla hacia arriba (ya que es la única parte móvil que

puede accionar el gas). La jeringuilla empuja el extremo del tubo de vidrio en el que se encuentra el tapón hacia arriba, desplazando las canicas hacia el fondo del tubo de ensayo, quedando el mecanismo en la posición que muestra la imagen 1 (parte derecha). Cuando las canicas pasan al fondo del tubo de ensayo desplazan el aire caliente que hay allí hacia el extremo frío del tubo. En consecuencia, la temperatura del aire disminuye, decrece la presión y se reduce el volumen (comprimiéndose la jeringuilla por la acción de la presión atmosférica exterior). De este modo, la jeringuilla tira del extremo del tubo de ensayo hacia abajo, desplazando las canicas hacia el tapón y devolviendo el aire a la parte caliente del tubo. Se regresa así a la posición inicial y se cierra el ciclo.

### Secuencia de actividades

Empezamos la secuencia con actividades que capten el interés de los alumnos y alumnas y les impliquen en la investigación que se va a llevar a cabo. Mostramos al alumnado el motor de canicas con el que vamos a trabajar y les planteamos una cuestión de interés: «¿Cómo conseguir que funcione lo más rápido posible?». A continuación, les pedimos que expliquen el funcionamiento de diversos motores, aprovechando simulaciones y usando los conocimientos sobre gases construidos durante el desarrollo de la unidad.

#### Actividad 1

*Usad el modelo que hemos construido para los gases y las animaciones que se encuentran en la web (<http://www.animatedengines.com/vstirling.html>) para explicar cómo funciona un cohete, un reactor de avión, un motor de dióxido de carbono, una máquina de vapor y un motor de combustión interna de cuatro tiempos.*

Tras discutir cómo funcionan los motores propuestos abordamos el problema de explicar cómo funciona nuestro motor de canicas. A diferencia de muchos de los anteriores, en el motor de Stirling el gas no escapa al finalizar el ciclo, aspecto que dificulta la búsqueda de una explicación por parte del alumnado. En lugar de darles la respuesta correcta les proponemos unas actividades que orienten la reflexión.

#### Actividad 2

*Explicad, usando las leyes de los gases, qué pasa cuando calentamos y enfriamos una jeringuilla sellada de forma cíclica.*



Los estudiantes no tardan en responder que el pistón se desplazará aumentando o disminuyendo el volumen, movimiento que identifican con el de un motor. Seguidamente, les planteamos que para conseguir que la jerin-guilla realice un movimiento cíclico es necesario algún mecanismo que caliente y enfríe el gas interior de manera cíclica. Les hacemos ver que este ciclo es diferente al del motor de combustión o a la máquina de vapor, que dejan escapar el gas al final del ciclo. Abordamos ahora la explicación completa del motor de canicas.

### Actividad 3

*Explicad cómo funciona el motor de canicas. Usad lo que sabéis sobre los gases, como habéis hecho con los motores anteriores.*

Una vez que han comprendido el funcionamiento del motor llega el momento de abordar el problema de mejorarlo. Acordamos que mejorarlo será conseguir que vaya más rápido. Algunos alumnos se adelantan a nuestra propuesta y lanzan algunas cuestiones: «¿Si aumentamos el tamaño de la llama se moverá más rápido? ¿Qué pasa si usamos un tubo de ensayo más grande?». Aprovechando la implicación conseguida les planteamos la siguiente actividad.

### Actividad 4

*Estableced hipótesis fundamentadas (basándoos en las relaciones presión-volumen-temperatura para los gases) sobre qué aspectos del motor se pueden modificar para que se mueva más rápido.*

Los alumnos y alumnas apuntan diversas posibilidades, si bien algunas de ellas no son capaces de fundamentar-las. Comentamos algunas:

- «Poniendo más fuego el motor se moverá más rápido»: argumentan que así la temperatura que alcanza el gas será mayor, consiguiendo más presión en un tiempo menor.
- «Poniendo más canicas irá más rápido» o «Usando un tubo de ensayo más corto irá más rápido»: lo argu-mentan atendiendo al diseño. Apuntan a que las canicas no tendrán tanto recorrido de un extremo al otro del tubo, lo que llevará a un ciclo más rápido.
- «Con canicas más ligeras irá más rápido»: argumentan que el motor pesará menos y eso redundará en un movimiento más rápido. Nuevamente, no hacen referencia al ciclo del gas sino al diseño.

El interés de las dos últimas hipótesis radica en que se contradicen: a más canicas más peso y el motor debería ir más lento, en contra de lo argumentado en la segunda hipótesis. Hacemos reflexionar a los estudiantes sobre esta contradicción y finalmente decidimos investigar cómo afecta a la velocidad del motor el cambio en el número y tamaño de las canicas. Una vez hemos concretado nuestro objetivo planteamos la siguiente actividad.

### Actividad 5

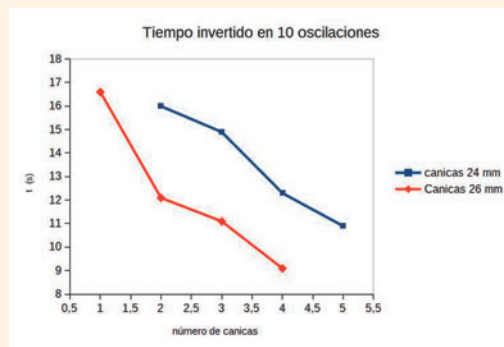
*Estableced una estrategia para poner a prueba las hipótesis relativas al efecto del número y tamaño de las canicas sobre la velocidad del motor. Llegad a acuerdos con respecto a la estrategia a seguir y desarrolladla.*

El alumnado no tarda en acordar que hemos de empezar poniendo una canica en el tubo de ensayo y midiendo el tiempo que tarda el motor en realizar un ciclo. Seguidamente iremos aumentando el número de canicas y



repetiendo la medición, hasta alcanzar el número máximo que caben en el tubo. Repetiremos el mismo procedimiento con las canicas de mayor diámetro. Sin embargo, al llevar a cabo las medidas se dan cuenta de que el movimiento es demasiado rápido como para que la medida de una sola oscilación sea fiable. Acordamos medir diez oscilaciones y hacerlo tres veces para calcular un valor promedio.

Número de canicas	T (s) Canicas de 24 mm	T (s) Canicas de 26 mm
5	10,9	No oscila
4	12,3	9,1
3	14,9	11,1
2	16,0	12,1
1	No oscila	16,6



**Imagen 2.** Representación gráfica del tiempo invertido en diez oscilaciones en función del número de canicas

**Cuadro 1.** Tiempo invertido en diez oscilaciones en función del número de canicas

Los resultados obtenidos por uno de los grupos se recogen en el cuadro 1 y se representan en la gráfica de la imagen 2. Podemos observar que la velocidad del motor aumenta al aumentar el número de canicas y que la velocidad también es mayor con las canicas de mayor diámetro. Así mismo, observamos que al poner solo una canica pequeña el motor no oscila y que ocurre lo mismo al poner 5 canicas grandes. Tras este primer análisis, les pedimos que profundicen y que den una explicación atendiendo al comportamiento del gas.

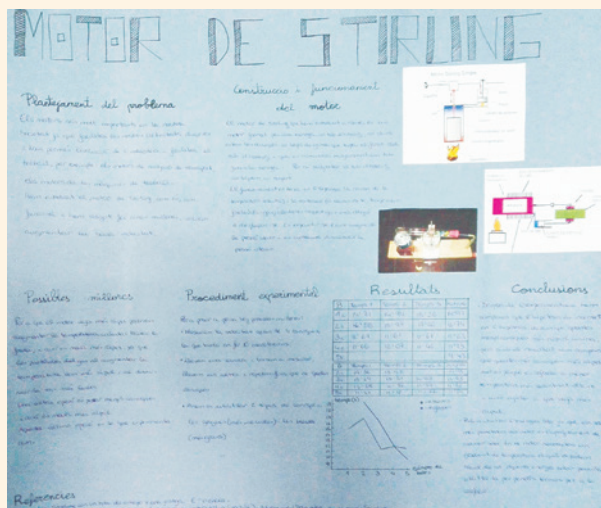
### Actividad 6

*A modo de conclusión, justificad los resultados obtenidos atendiendo al comportamiento del gas.*

El alumnado necesita ayuda para extraer conclusiones, ya que le resulta difícil conjugar las diversas variables que entran en juego. Así, les pedimos que se centren en el ciclo que sigue el gas y que tengan en cuenta tres casos concretos: por qué no oscila cuando hay solo una canica pequeña o cuando hay cinco canicas grandes y por qué deja de oscilar cuando lleva varios minutos funcionando. Con esta ayuda, el alumnado entiende que es fundamental favorecer el ciclo, y que para ello es necesario que el gas se desplace de forma eficiente del extremo frío al caliente y viceversa. Con una canica pequeña no se consigue desplazar gas suficiente del extremo frío al caliente, todo el gas se calienta y no hay ciclo. Cuando hay muchas canicas grandes la cantidad de gas desplazado es demasiado pequeña como para que el motor funcione. Asimismo, cuando el motor lleva mucho tiempo funcionando se alcanza el equilibrio térmico entre ambos extremos del tubo y el motor se para. Parece ser que un número elevado de canicas (pero no excesivo) es el ideal, puesto que separa correctamente el extremo caliente del frío y conduce el gas eficientemente del uno al otro.

**Imagen 3.** Póster elaborado por una alumna donde se recoge la investigación realizada

Llegados a este punto algunos estudiantes apuntan que debe de haber una relación óptima entre las dimensiones del tubo (diámetro y longitud) y el diámetro de las canicas que maximice la velocidad del motor. Aprovechamos esta aportación para valorar qué otros aspectos se podrían investigar. Finalmente, pedimos al alumnado que elabore un producto final en el que dé cuenta del trabajo realizado: un informe, un póster, etc. (imagen 3). Al evaluarlo valoramos especialmente dos aspectos: la explicación física sobre el ciclo que sigue el gas para hacer funcionar el motor y la descripción argumentada del proceso de indagación seguido.



## Conclusiones

En este trabajo hemos presentado una secuencia para indagar con estudiantes de secundaria el funcionamiento de los motores térmicos, un contenido que, a pesar de su relevancia social y del interés que suscita en el alumnado, raramente es trabajado. Según hemos observado, la puesta en práctica de la secuencia ha tenido una incidencia positiva en las actitudes y el aprendizaje de nuestro alumnado, tanto en lo referente a la comprensión de la física de los gases como a las habilidades relacionadas con la actividad experimental. Asimismo, nos hemos dado cuenta de que tienen dificultades para explicar procesos complejos (que requieren diversas etapas) y especialmente procesos cíclicos. ◀

## Referencias bibliográficas

- BOADA, M. (2017): «Motores mínimos (III)». *Investigación y Ciencia*, núm. 489, pp. 84-87.
- HODSON, D. (2003): «Time for action: Science education for an alternative future». *International Journal of Science Education*, núm. 25(6), pp. 645-670.
- MARTÍNEZ TORREGROSA, J. y otros (1997): *La estructura de todas las cosas*. Alicante. Aguadara. Disponible en línea en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/9859> [Consulta: marzo de 2019.]

Francisco Savall Alemany  
pacosavall@gmail.com

Sergio Rosa Cintas  
sergio.rosacintas@ua.es

Carolina Nicolás Castellano  
carolina.nicolas@ua.es

Míriam Esparza García  
miriamesparzagarcia@gmail.com

Juan Francisco Álvarez Herrero  
juanfran.alvarez@ua.es